SISTEMA CARDIOVASCULAR: ANATOMÍA

GENERALIDADES

El sistema cardiovascular está formado por el corazón y los vasos sanguíneos: arterias, venas y capilares. Se trata de un sistema de transporte en el que una bomba muscular (el corazón) proporciona la energía necesaria para mover el contenido (la sangre), en un circuito cerrado de tubos elásticos (los vasos).

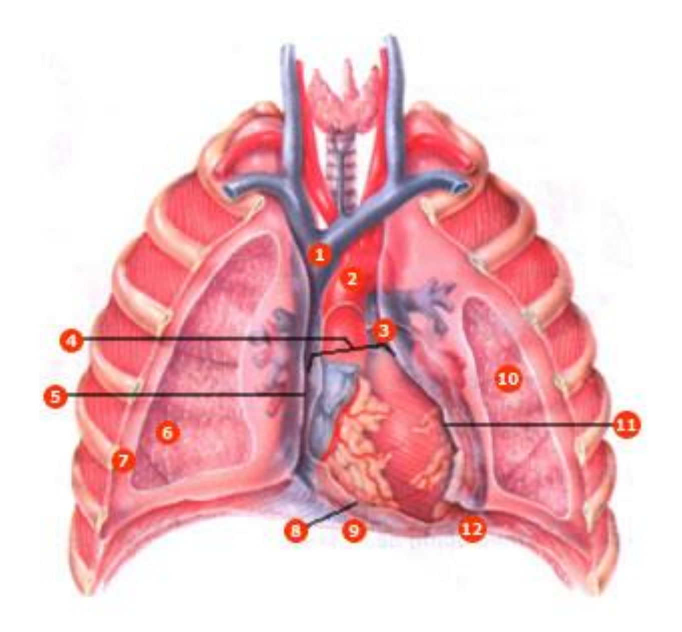
• CORAZÓN

ANATOMÍA MACROSCÓPICA

Localización

El corazón es un órgano musculoso formado por 4 cavidades. Su tamaño es parecido al de un puño cerrado y tiene un peso aproximado de 250 y 300 g, en mujeres y varones adultos, respectivamente. Está situado en el interior del tórax, por encima del diafragma, en la región denominada **mediastino**, que es la parte media de la cavidad torácica localizada entre las dos cavidades pleurales. Casi dos terceras partes del corazón se sitúan en el hemitorax izquierdo. El corazón tiene forma de cono apoyado sobre su lado, con un extremo puntiagudo, el **vértice**, de dirección anteroinferior izquierda y la porción más ancha, la **base**, dirigida en sentido posterosuperior.

1 vena cava superior
2 arco aórtico
3 tronco pulmonar
4 base del corazón
5 borde derecho
6 pulmón derecho
7 pleura (cortada para revelar el pulmón en su interior)
8 cara inferior
9 diafragma
10 pulmón izquierdo
11 borde izquierdo
12 vértice cardiaco (apex)



Fuente: Tortora G, Derrickson B. Principios de Anatomía y Fisiología. 11ª ed. Madrid: Editorial Médica Panaméricana; 2006, p. 701

Pericardio

La membrana que rodea al corazón y lo protege es el **pericardio**, el cual impide que el corazón se desplace de su posición en el mediastino, al mismo tiempo que permite libertad para que el corazón se pueda contraer. El pericardio consta de dos partes principales, el pericardio fibroso y el seroso.

1. El **pericardio fibroso,** más externo, es un saco de tejido conjuntivo fibroso duro no elástico. Descansa sobre el diafragma y se continúa con el centro tendinoso del mismo. Las superficies laterales se continúan con las pleuras parietales. La función del pericardio fibroso es evitar el excesivo estiramiento del corazón durante la diástole, proporcionarle protección y fijarlo al mediastino.

2. El **pericardio seroso**, más interno, es una fina membrana formada por dos capas:
a. la capa más interna **visceral** o **epicardio,** que está adherida al miocardio.
b. la capa más externa **parietal,** que se fusiona con el pericardio fibroso.

Entre las hojas parietal y visceral hay un espacio virtual, la **cavidad pericárdica,** que contiene una fina capa de líquido seroso, el **líquido pericárdico**, que reduce la fricción entre las capas visceral y parietal durante los movimientos del corazón.

Pared

La pared del corazón está formada por tres capas:

- Una capa externa, denominada **epicardio,** que corresponde a la capa visceral del pericardio seroso.
- Una capa intermedia, llamada **miocardio,** formada por tejido muscular cardíaco.
- Una capa interna, denominada **endocardio,** la cual recubre el interior del corazón y las válvulas cardíacas y se continúa con el endotelio de los granos vasos torácicos que llegan al corazón o nacen de él.

Cavidades

El corazón está formato por 4 cavidades: dos superiores, las **aurículas** y dos inferiores, los **ventrículos**. En la superficie anterior de cada aurícula se observa una estructura arrugada a manera de bolsa, la **orejuela**, la cual incrementa levemente la capacidad de la aurícula.

1. **Aurícula derecha:** Es una cavidad estrecha, de paredes delgadas, que forma el borde derecho del corazón y está separada de la aurícula izquierda por el tabique interauricular. Recibe sangre de tres vasos, la **vena cava superior e inferior,** y el **seno coronario**. La sangre fluye de la aurícula derecha al ventrículo derecho por el orificio aurículoventricular derecho, donde se sitúa la **válvula tricúspide**, que recibe este nombre porque tiene tres cúspides.
2. **Ventrículo derecho:** Es una cavidad alargada de paredes gruesas, que forma la cara anterior del corazón. El **tabique interventricular** lo separa del ventrículo izquierdo. El interior del ventrículo derecha presenta unas elevaciones musculares denominadas **trabéculas carnosas**. Las cúspides de la válvula tricúspide están conectadas entre sí por las **cuerdas tendinosas** que se unen a los **músculos papilares**. Las cuerdas tendinosas impiden que las valvas sean arrastradas al interior de la aurícula cuando aumenta la presión ventricular. La sangre fluye del ventrículo derecho a través de la **válvula semilunar**

pulmonar hacia el **tronco de la arteria pulmonar**. El tronco pulmonar se divide en **arteria pulmonar derecha** y **arteria pulmonar izquierda.**

3. **Aurícula izquierda**: Es una cavidad rectangular de paredes delgadas, que se sitúa por detrás de la aurícula derecha y forma la mayor parte de la base del corazón. Recibe sangre de los pulmones a través de las **cuatro venas pulmonares**, que se sitúan a la cara posterior, dos a cada lado. La cara anterior y posterior de la pared de la aurícula izquierda es lisa debido a que los músculos pectíneos se sitúan exclusivamente en la orejuela. La sangre pasa de esta cavidad al ventrículo izquierdo a través del orificio aurículo-ventricular izquierdo, recubierto por una válvula que tiene dos cúspides **válvula mitral (**o **bicúspide**).

4. Ventrículo izquierdo: Esta cavidad constituye el vértice del corazón, casi toda su cara y borde izquierdo y la cara diafragmática. Su pared es gruesa y presenta trabéculas carnosas y cuerdas tendinosas, que fijan las cúspides de la válvula a los músculos papilares. La sangre fluye del ventrículo izquierdo a través de la **válvula semilunar aórtica** hacia la **arteria aorta**.

El grosor de las paredes de las 4 cavidades varía en función de su acción. Las aurículas tienen unas paredes delgadas debido a que solo transfieren la sangre a los ventrículos adyacentes. El ventrículo derecho tiene una pared más delgada que el ventrículo izquierdo debido a que bombea la sangre a los pulmones, mientras que el ventrículo izquierdo la bombea a todo el organismo. La pared muscular del ventrículo izquierdo es entre 2-4 veces más gruesa que la del ventrículo derecho.

Entre el miocardio auricular y ventricular existe una capa de tejido conjuntivo denso que constituye el **esqueleto fibroso del corazón**. Cuatro anillos fibrosos, donde se unen las válvulas cardiacas, están fusionados entre si y constituyen una barrera eléctrica entre el miocardio auricular y ventricular.

Inervación

El corazón está inervado por fibras nerviosas autónomas, tanto del sistema parasimpático como del sistema simpático, que forman el **plexo cardíaco**. Las ramas del plexo cardiaco inervan el tejido de conducción, los vasos sanguíneos coronarios y el miocardio auricular y ventricular. Las fibras simpáticas proceden de los segmentos medulares cervical y torácico. La inervación parasimpática deriva de los **nervios vagos o X par craneal**.

Irrigación

En la parte inicial de la aorta ascendente nacen las dos arterias coronarias principales, la **arteria coronaria derecha** y la **arteria coronaria izquierda**. Estas arterias se ramifican para poder distribuir la sangre oxigenada a través de todo el miocardio. La sangre no oxigenada es drenada por venas que desembocan el **seno coronario**, la cual desemboca en la aurícula derecha. El seno coronario se sitúa en la parte posterior del surco auriculoventricular.

ANATOMÍA MICROSCÓPICA

Músculo cardíaco

El miocardio o músculo cardíaco está formado por fibras musculares estriadas más cortas y menos circulares que las fibras del músculo esquelético. Presentan ramificaciones, que se conectan con las fibras vecinas a través de engrosamientos transversales de la membrana celular o sarcolema, denominados discos intercalares. Estos discos contienen uniones intercelulares que permiten la conducción de potenciales de acción de una fibra muscular a las otras vecinas.

Sistema de conducción cardíaco

Cada latido cardíaco se produce gracias a la actividad eléctrica inherente y rítmica de un 1% de las fibras musculares miocárdicas, las **fibras autorrítmicas** o **de conducción**. Estas fibras son capaces de generar impulsos de una forma repetida y rítmica, y actúan como marcapasos estableciendo el ritmo de todo el corazón, y forman el **sistema de conducción** cardíaco. El sistema de conducción garantiza la contracción coordinada de las cavidades cardíacas y de esta forma el corazón actúa como una bomba eficaz. Los componentes del sistema de conducción son:

1. El **nódulo sinusal** o **nódulo sinoauricular**, localizado en la pared de la aurícula derecha, por debajo de desembocadura de la vena cava superior. Cada potencial de acción generado en este nódulo se propaga a las fibras miocárdicas de las aurículas.
2. El **nódulo auriculoventricular (AV)** se localiza en el tabique interauricular. Los impulsos de las fibras musculares cardíacas de ambas aurículas convergen en el nódulo AV, el cual los distribuye a los ventrículos a través del
3. **haz de His** o **fascículo auriculoventricular**, que es la única conexión eléctrica entre las aurículas y los ventrículos. En el resto del corazón el esqueleto fibroso aísla eléctricamente las aurículas de los ventrículos.
4. El fascículo auriculoventricular se dirige hacia la porción muscular del tabique interventricular y se divide en sus **ramas derecha** e **izquierda del haz de His**, las cuales a través del tabique interventricular siguen en dirección hacia el vértice cardíaco y se distribuyen a lo largo de toda la musculatura ventricular.
5. Por último, el **plexo subendocárdico terminal** o **fibras de Purkinje** conducen rápidamente el potencial de acción a través de todo el miocardio ventricular.

• VASOS SANGUÍNEOS

GENERALIDADES

Los vasos sanguíneos forman una red de conductos que transportan la sangre desde el corazón a los tejidos y desde los tejidos al corazón. Las **arterias** son vasos que distribuyen la sangre del corazón a los tejidos. Las arterias se ramifican y progresivamente en cada ramificación disminuye su calibre y se forman las **arteriolas**. En el interior de los tejidos las arteriolas se ramifican en múltiples vasos microscópicos, los **capilares** que se distribuyen entre las células. Los

capilares se unen en grupos formando venas pequeñas, llamadas **vénulas**, que se fusionan para dar lugar a **venas** de mayor calibre. Las venas retornan la sangre al corazón.

Las paredes de los grandes vasos, arterias y venas, están constituidos por tres capas:

1. La **capa interna** está constituida por un **endotelio** (epitelio escamoso simple), su membrana basal y una capa de fibras elásticas.
2. La **capa media** está compuesta por tejido muscular liso y fibras elásticas. Esta capa es la que difiere más, en cuanto a la proporción de fibras musculares y elásticas y su grosor entre venas y arterias.
3. La **capa externa** o **adventicia** se compone principalmente tejido conjuntivo.

ARTERIAS

Las **arterias** son vasos cuyas paredes están formadas por tres capas (capa interna o endotelio, capa media y capa externa o adventicia), con un predominio de fibras musculares y fibras elásticas en la capa media. Ello explica las principales características de las arterias: la elasticidad y la contractilidad. Según la proporción de fibras elásticas y musculares de esta capa se pueden diferenciar dos tipos de arterias: **arterias elásticas** y **arterias musculares**.

- Las **arterias elásticas** son las de mayor calibre, la aorta y sus ramas, tienen una mayor proporción de fibras elásticas en su capa media y sus paredes son relativamente delgadas en relación con su diámetro. La principal función de estas arterias es la conducción de la sangre del corazón a las arterias de mediano calibre.
- Las **arterias musculares** son las de calibre intermedio y su capa media contiene más músculo liso y menos fibras elásticas. Gracias a la contracción (vasoconstricción) o dilatación (vasodilatación) de las fibras musculares se regula el flujo sanguíneo en las distintas partes del cuerpo.

ARTERIOLAS

Las **arteriolas** son arterias de pequeño calibre cuya función es regular el flujo a los capilares. La pared de las arteriolas tiene una gran cantidad de fibras musculares que permiten variar su calibre y, por tanto, el aporte sanguíneo al lecho capilar.

CAPILARES

Los capilares son vasos microscópicos que comunican las arteriolas con las vénulas. Se situan entre las células del organismo en el espacio intersticial para poder facilitar el intercambio de sustancias entre la sangre y las células. Las paredes de los capilares son muy finas para permitir este intercambio. Están formadas por un endotelio y una membrana basal. Los capilares forman redes extensas y ramificadas, que incrementan el área de superficie para el intercambio rápido de materiales. Los capilares nacen de las arteriolas terminales y en el sitio de origen presentan un anillo de fibras de músculo liso llamado **esfinter precapilar**, cuya función es regular el flujo sanguíneo hacia los capilares.

VENAS Y VÉNULAS

La unión de varios capilares forma pequeñas venas denominadas **vénulas**. Cuando la vénula aumenta de calibre, se denomina vena. Las **venas** son estructuralmente muy similares a las arterias aunque sus capas interna y media son más delgadas. La capa muscular y elástica es mucho más fina que en las arterias porqué presentan una menor cantidad de fibras tanto elásticas como musculares. La capa externa (adventicia) es más gruesa y contiene más tejido conjuntivo. Las venas de las extremidades inferiores presentan válvulas en su pared, que es una proyección interna del endotelio. La función de estas válvulas es impedir el reflujo de sangre y ayudar a dirigir la sangre hacia el corazón.

ANASTOMOSIS

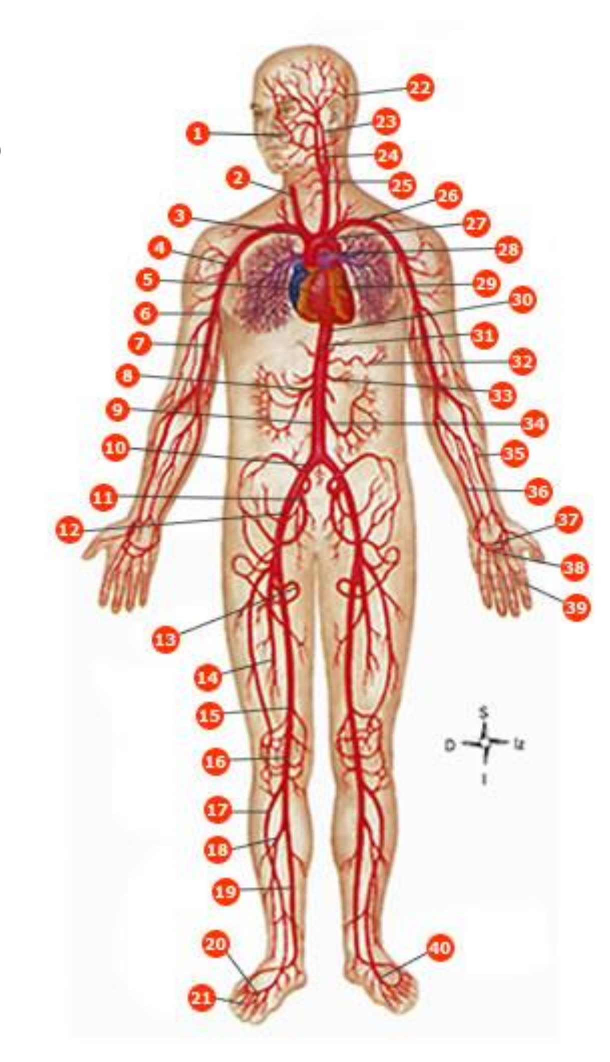
Se llama **anastomosis** a la unión de dos o más vasos. Existen distintos tipos de anastomosis:

- **Anastomosis arteriales**: es la unión de dos ramas arteriales que irrigan una misma región. Las anastomosis arteriales constituyen rutas alternas para que llegue sangre a un tejido u órgano.
- **Anastomosis arteriovenosa**: es la comunicación directa entre una arteriola y una vénula de manera que la sangre no pasa a través de la red capilar.

SISTEMA LINFÁTICO

El líquido intersticial entra en los **capilares linfáticos** situados en el espacio intersticial, cuyas paredes presentan poros que permiten la entrada de líquido, pequeños solutos y grandes partículas. Desde los capilares, el fluido llamado **linfa**, se dirige a las venas linfáticas a través de las cuales llegan a dos grandes conductos donde se drena toda la linfa de nuestro organismo: el **conducto linfático derecho** y el **conducto torácico.** De esta forma la linfa retorna al sistema cardiovascular.

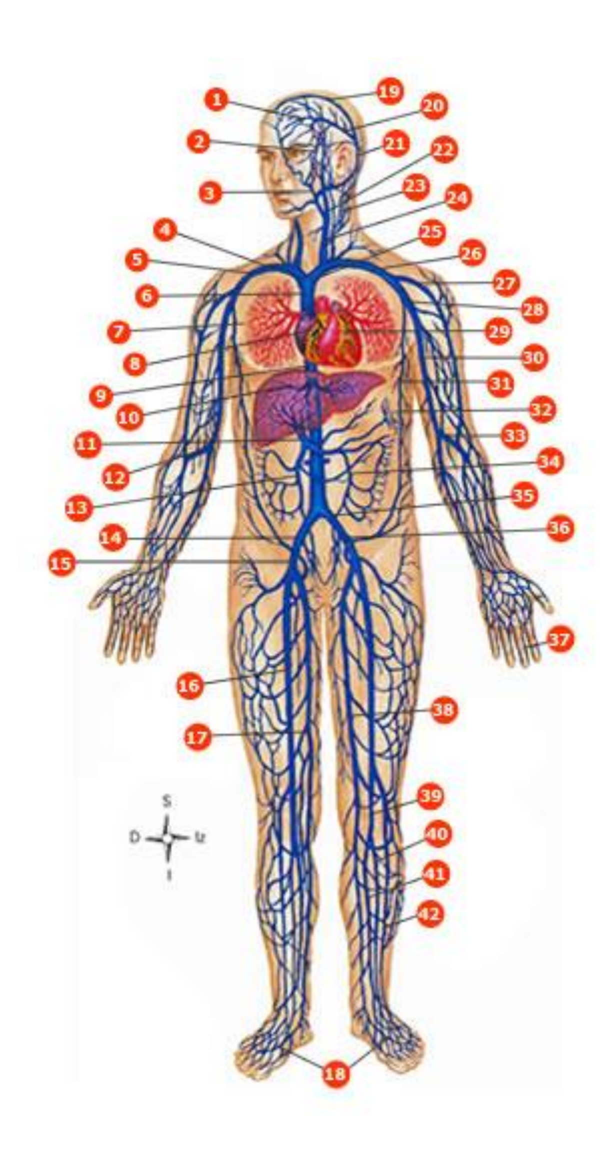
PRINCIPALES ARTERIAS Y VENAS DEL CUERPO HUMANO



1. facial
2. carótida primitiva derecha
3. tronco branquiocefálico
4. torácica inferior (mamaria externa)
5. coronaria derecha
6. axilar
7. humeral
8. mesentérica superior
9. aorta abdominal
10. Ilíaca primitiva
11. Ilíaca interna (hipogástrica)
12. Ilíaca externa
13. circunfleja interna
14. femoral profunda
15. femoral
16. poplítea
17. tibial anterior
18. peronea
19. tibial posterior
20. dorsal de metatarso
21. interóseas dorsales
22. occipital
23. carótida interna
24. carótida externa
25. carótida primitiva izquierda
26. subclavia izquierda
27. cayado de la aorta
28. pulmonar
29. coronaria izquierda
30. aorta
31. tronco celíaco
32. esplénica
33. renal
34. mesentérica inferior
35. radial
36. cubital
37. arco palmar: profundo
38. arco palmar: superficial
39. digital
40. dorsal del pie (pedia)

Fuente: Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 4a ed. Madrid: Ediciones Harcourt; 2000, p. 567

1 seno longitudinal inferior
2 angular
3 facial anterior
4 tronco venoso braquiocefálico derecho
5 subclavia derecha
6 vena cava superior
7 pulmonar
8 coronaria derecha
9 vena cava inferior
10 hepática
11 porta hepática
12 mediana del codo
13 mesentérica superior
14 ilíaca primitiva
15 ilíaca externa
16 femoral
17 safena interna
18 arco venoso dorsal
19 seno longítudinal superior
20 seno recto
21 seno transverso de la duramadre
22 yugular externa
23 plaxo cervical
24 yugular interna
25 tronco venoso braquiocefálico izquierdo
26 subclavia izquierda
27 cefálica
28 axilar
29 coronaria izquierda
30 basílica
31 mamaria externa
32 esplénica
33 mediana basílica
34 mesentérica inferior
35 ilíaca primitiva
36 ilíaca interna (hipogástrica)
37 digital palmar
38 femoral
39 poplítea
40 peronea
41 tibial posterior
42 tibial anterior



Fuente: Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 4a ed. Madrid: Ediciones Harcourt; 2000, p. 574

SISTEMA CARDIOVASCULAR: FISIOLOGÍA

Generalidades. Circulación general y pulmonar

• FISIOLOGÍA DEL CORAZÓN

Potencial de acción

Propagación del potencial de acción

Electrocardiograma

Ciclo cardíaco

Gasto cardíaco

• FISIOLOGÍA DE LA CIRCULACIÓN SANGUÍNEA

Flujo sanguíneo

Presión arterial

Resistencia vascular

Retorno venoso

Regulación de la presión arterial

Intercambio capilar

Evaluación del sistema circulatorio:

- Pulso
- Presión arterial

GENERALIDADES. CIRCULACIÓN GENERAL Y PULMONAR

En cada latido, el corazón bombea sangre a dos circuitos cerrados, la **circulación general o mayor** y la **pulmonar o menor**. La sangre no oxigenada llega a la aurícula derecha a través de las venas cavas superior e inferior, y el seno coronario. Esta sangre no oxigenada es transferida al ventrículo derecho pasando a través de la válvula tricúspide y posteriormente fluye hacia el tronco pulmonar, el cual se divide en arteria pulmonar derecha e izquierda. La sangre no oxigenada se oxigena en los pulmones y regresa a la aurícula izquierda a través de las venas pulmonares (**circulación pulmonar**). La sangre oxigenada pasa al ventrículo izquierdo donde se bombea a la aorta ascendente. A este nivel, la sangre fluye hacia las arterias coronarias, el cayado aórtico, y la aorta descendente (porción torácica y abdominal). Estos vasos y sus ramas transportan la sangre oxigenada hacia todas las regiones del organismo (**circulación general**).

• FISIOLOGÍA DEL CORAZÓN

POTENCIAL DE ACCIÓN

Funcionalmente el corazón consta de dos tipos de fibras musculares: las contráctiles y las de conducción. Las fibras contráctiles comprenden la mayor parte de los tejidos auricular y ventricular y son las células de trabajo del corazón. Las fibras de conducción representan el 1% del total de fibras del miocardio y constituyen el sistema de conducción. Su función no es la contracción muscular sino la generación y propagación rápida de los potenciales de acción sobre todo el miocardio.

Las contracciones del músculo cardiaco están generadas por estímulos eléctricos regulares que se generan de forma automática en el nódulo sinusal. La llegada de un impulso a una fibra miocárdica normal genera un **potencial de acción** (cambios en la permeabilidad de la membrana celular a determinados iones), el cual ocasiona la contracción de la fibra muscular del miocardio. El **potencial de acción** de las fibras miocárdicas contráctiles auriculares y ventriculares comprende tres fases:

1. **Despolarización**: cuando la excitación de las fibras del nódulo sinusal llega a las fibras auriculares ocasiona la abertura rápida de canales de sodio, con lo que se inicia la **despolarización rápida**.
1. **Meseta:** en una segunda fase, se abren canales lentos de calcio que facilitan la entrada de iones calcio al interior de la fibra miocárdica.
2. **Repolarización**: la recuperación del potencial de membrana en reposo es debida a la abertura de canales de potasio y al cierre de los canales de calcio.

El **potencial de acción** de las fibras del **nódulo sinusal** tiene algunas diferencias con respecto al resto de fibras miocárdicas auriculares y ventriculares:

1. El potencial de de membrana de reposo es menos negativo que en el resto de fibras cardíacas (-55 mV) y por lo tanto son más excitables.
2. Durante el estado de reposo, debido a una mayor permeabilidad al ión sodio, el potencial de reposo se va haciendo cada vez menos negativo (potencial de reposo inestable. Cuando llega a un valor de - 40 mV (valor umbral) se activan los canales de calcio y se desencadena un potencial de acción.

PROPAGACIÓN DEL POTENCIAL DE ACCIÓN

El potencial de acción cardiaco se propaga desde el nódulo sinusal por el miocardio auricular hasta el nódulo auriculoventricular en aproximadamente 0,03 segundos. En el nódulo AV, disminuye la velocidad de conducción del estímulo, lo que permite que las aurículas dispongan de tiempo suficiente para contraerse por completo, y los ventrículos pueden llenarse con el volumen de sangre necesario antes de la contracción de los mismos. Desde el nódulo auriculoventricular, el potencial de acción se propaga posteriormente de forma rápida por el haz de His y sus ramas para poder transmitir de forma síncrona el potencial de acción a todas las fibras del miocardio ventricular. El tiempo entre el inicio del potencial en el nódulo sinusal y su propagación a todas las fibras del miocardio auricular y ventricular es de 0,22 segundos.

ELECTROCARDIOGRAMA

Cuando el impulso cardíaco atraviesa el corazón, la corriente eléctrica también se propaga desde el corazón hacia los tejidos adyacentes que lo rodean. Una pequeña parte de la corriente se propaga a la superficie corporal y puede registrarse. Este registro se denomina **electrocardiograma** (**ECG**). El ECG es un registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón y de la conducción de sus impulsos. Las corrientes eléctricas se detectan en la superficie del cuerpo como pequeños potenciales eléctricos que tras su ampliación se observan en el **electrocardiógrafo**. En la práctica clínica, el ECG se registra colocando electrodos en los brazos y piernas (derivaciones de las extremidades) y seis en el tórax (derivaciones torácicas). Cada electrodo registra actividad eléctrica distinta porque difiere su posición respecto del corazón. Con la interpretación del ECG se puede determinar si la conducción cardiaca es normal, el tamaño de las cavidades cardíacas y si hay daño en regiones del miocardio.

Con cada latido cardíaco se observan 3 ondas en el ECG:

1. La **onda P** es una pequeña onda ascendente. Representa la despolarización de las aurículas y la transmisión del impulso del nódulo sinusal a las fibras musculares auriculares.
2. El **complejo QRS** se inicia con una onda descendente, continúa con una onda rápida triangular ascendente y finalmente una pequeña deflexión. Este complejo representa la despolarización ventricular. La fase de repolarización auricular coincide con la despolarización ventricular por lo que la onda de repolarización auricular queda oculta por el complejo QRS y no puede verse en el E.C.G..
3. La **onda T**: es una onda ascendente suave que aparece después del complejo QRS y representa la repolarización ventricular.

El análisis del ECG también incluye la medición de los espacios entre las ondas o **intervalos** o **segmentos**:

1. El **intervalo P-R** se mide desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS. Ello permite determinar el tiempo necesario para que el impulso se propague por las aurículas y llegue a los ventrículos.
2. El **segmento S-T** representa el intervalo entre el final del complejo QRS y el inicio de la onda T. Se corresponde con la fase de meseta del potencial de acción. Este segmento se altera cuando el miocardio recibe insuficiente oxígeno (p.e., angina de pecho o infarto de miocardio).

3. El **intervalo Q-T** incluye el complejo QRS, el segmento ST y la onda T y representa el principio de la despolarización ventricular hasta el final de la repolarización ventricular.

CICLO CARDIACO

Un **ciclo cardiaco** incluye todos los fenómenos eléctricos (potencial de acción y su propagación) y mecánicos (sístole: contracción; diástole: relajación) que tienen lugar durante cada latido cardiaco. El término **sístole** hace referencia a la fase de contracción y el término **diástole** a la fase de relajación. Cada ciclo cardíaco consta de una sístole y una diástole auricular, y una sístole y una diástole ventricular. En cada ciclo, las aurículas y los ventrículos se contraen y se relajan de forma alternada, moviendo la sangre de las áreas de menor presión hacia las de mayor presión. Los fenómenos que tienen lugar durante cada ciclo cardiaco pueden esquematizarse de la siguiente forma:

1. **Sístole auricular**: durante la sístole auricular las aurículas se contraen y facilitan el paso de un pequeño volumen de sangre a los ventrículos. La despolarización auricular determina la sístole auricular. En este momento los ventrículos están relajados.
2. **Sístole ventricular**: tiene una duración de 0,3 segundos durante los cuales los ventrículos se contraen y al mismo tiempo las aurículas están relajadas. Al final de la sístole auricular, el impulso eléctrico llega a los ventrículos y ocasiona primero la despolarización y posteriormente la contracción ventricular. La contracción del ventrículo ocasiona un aumento de la presión intraventricular que provoca el cierre de las válvulas auriculoventriculars (AV). El cierre de estas válvulas genera un ruido audible en la superficie del tórax y que constituye el **primer ruido cardiaco**. Durante unos 0,05 segundos, tanto las válvulas semilunares (SL) como las AV se encuentran cerradas. Este es el periodo de **contracción isovolumétrica**. Al continuar la contracción ventricular provoca un rápido aumento de la presión en el interior de las cavidades ventriculares. Cuando la presión de los ventrículos es mayor que la presión de las arterias, se abren las válvulas SL y tienen lugar la fase de eyección ventricular, con una duración aproximada de 0,250 segundos.
3. **Diástole ventricular**: el inicio de la diástole ventricular es debido a la repolarización ventricular. La velocidad de eyección de la sangre va disminuyendo de forma progresiva, disminuye la presión intraventricular y se cierran las válvulas SL. El cierre de las válvulas aórtica y pulmonar genera el **segundo ruido cardiaco**. Las válvulas semilunares impiden que la sangre refluya hacia las arterias cuando cesa la contracción de miocardio ventricular. El ventrículo es una cavidad cerrada, con las válvulas AV y SL cerradas. El ventrículo tiene un volumen constante, se relaja de forma progresiva y disminuye la presión intraventricular. Cuando la presión ventricular disminuye por debajo de la presión auricular, se obren las válvulas auriculoventriculars y se inicia la fase de **llenado ventricular**. La sangre fluye desde las aurículas a los ventrículos siguiendo un gradiente de presión.

GASTO CARDIACO

El **gasto cardiaco** o **volumen minuto** es el volumen de sangre que expulsa el ventrículo izquierdo hacia la aorta minuto. Es quizás el factor más importante a

considerar en relación con la circulación, porque de él depende el transporte de sustancias hacia los tejidos. Equivale a la cantidad de sangre expulsada por el ventrículo durante la sístole (**volumen sistólico)** multiplicado por el número de latidos por minuto (**frecuencia cardiaca**).

GC (VM) = VS x FC
(ml/min) (ml/lat) (lpm)

En reposo, en un adulto varón de talla promedio, el volumen sistólico es de 70 ml/lat y la frecuencia cardiaca de 75 lpm (latidos por minuto), con lo cual el gasto cardiaco es de **5.250 ml/min**.

La frecuencia cardiaca en reposo en una persona adulta es entre 70 y 80 latidos por minuto. Cuando la frecuencia cardiaca es inferior a 60 latidos por minuto se denomina **bradicardia**. Por otra parte, la **taquicardia** es la frecuencia cardiaca rápida en reposo mayor de 100 latidos por minuto.

Cuando los tejidos cambian su actividad metabólica, se modifica el consumo de oxígeno y esto se refleja en el valor del gasto cardiaco el cual se adapta a las necesidades. La **regulación del gasto cardiaco** depende de factores que pueden modificar el volumen sistólico y de factores que pueden variar la frecuencia cardiaca.

A) Factores que pueden modificar el volumen sistólico:

El volumen sistólico equivale a la diferencia entre el volumen al principio (volumen diastólico final) y al final de la sístole (volumen sistólico final). Un corazón sano es capaz de bombear durante la sístole toda la sangre que entra en sus cavidades durante la diástole previa. Para ello, los factores importantes que regulan el volumen sistólico y garantizan que los dos ventrículos bombeen el mismo volumen de sangre son:

1. La **precarga** o **grado de estiramiento** de las fibras miocárdicas durante la diástole condiciona la fuerza de la contracción miocárdica. Dentro de unos límites, cuanto más se llene el corazón en la diástole, mayor será la fuerza de contracción durante la sístole, lo cual se conoce como **Ley de Frank-Starling del corazón**. Esta ley establece que al llegar más sangre a las cavidades cardiacas, se produce un mayor estiramiento de las fibras miocárdicas. Como consecuencia del estiramiento, el músculo cardiaco se contrae con más fuerza. De esta forma, toda la sangre extra que llega al corazón durante la diástole se bombea de forma automática durante la sístole siguiente. Los factores que pueden aumentar la precarga son factores que influyen en el **retorno venoso** o regreso de sangre al corazón desde las venas. El retorno venoso depende de:
    a. la **duración** de la **diàstole ventricular**, de tal forma que si disminuye la diástole, disminuye el tiempo de llenado ventricular.
    b. la **presión venosa**, de tal manera que un aumento de la presión venosa facilita el paso de un mayor volumen de sangre a los ventrículos.

2. La **contractilidad** miocárdica o fuerza de contracción de las fibras del miocardio con cualquier valor de precarga. Los factores que pueden modificar la contractilidad se resumen en:
    a. **Factores intrínsecos**, relacionados con la Ley de Frank-Starlin del corazón.
    b. **Factores extrínsecos**, relacionados con el efecto del sistema nervioso vegetativo sobre las fibras miocárdicas. El **sistema**

nervioso simpático inerva todas las fibras miocárdicas auriculares y ventriculares y su estímulo ocasiona un aumento de la contractilidad miocárdica. El **sistema nervioso parasimpático** inerva básicamente el miocardio auricular y en mucho menor grado el miocardio ventricular. La estimulación del sistema nervioso parasimpático ocasiona una disminución de la contractilidad entre un 20-30%.

3. La **postcarga** es la presión que debe superar el ventrículo durante la sístole para poder abrir las válvulas auriculoventriculares. El aumento de la poscarga, con valores de precarga constantes, reduce el volumen sistólico y permanece más sangre en los ventrículos al final de la diástole.

B) Factores que pueden modificar la frecuencia cardíaca

La frecuencia que establece el nódulo sinusal puede alterarse por diversos factores, siendo los más importantes el sistema nervioso autónomo y mecanismos químicos.

1. El **sistema nervioso autónomo** regula la frecuencia cardiaca a través de impulsos que provienen del **centro cardiovascular** situado en la unión bulbo-protuberancial. Las fibras simpáticas que se originan en este centro ocasionan un aumento de la frecuencia cardíaca. Asimismo, las fibras parasimpáticas que desde el centro cardiovascular llegan a través del nervio vago al corazón disminuyen la frecuencia cardiaca. Receptores situados en el sistema cardiovascular (**barorreceptores y quimiorreceptores),** y receptores musculares y articulares (**propioceptores)** informan al centro cardiovascular de cambios en la presión arterial, en la composición química de la sangre y de la actividad física, respectivamente. Ello comporta la llegada de estímulos activadores o inhibidores al centrocardiovascular que ocasionan la respuesta de este a través del sistema nervioso autónomo.

2. La **regulación química** de la frecuencia cardiaca incluye mecanismos relacionados con las hormonas suprarrenales, epinefrina y norepinefrina y con cambios en la concentración de determinados iones intra y extracelulares (K^+, Ca^+ y Na^+).

3. Otros factores que pueden influir en el valor de la frecuencia cardiaca incluyen la **edad**, el **género** y la **temperatura corporal**.

• FISIOLOGÍA DE LA CIRCULACIÓN SANGUÍNEA

FLUJO SANGUÍNEO

El **flujo sanguíneo** es el volumen de sangre que fluye a través de cualquier tejido por unidad de tiempo (ml/minuto). El flujo sanguíneo total es el gasto cardiaco. La distribución del gasto cardiaco entre las diferentes partes del cuerpo depende de la diferencia de presión entre dos puntos del sistema vascular y de la resistencia al flujo sanguíneo.

PRESIÓN ARTERIAL

La presión sanguínea es la presión hidrostática que ejerce la sangre contra la pared de los vasos que la contienen. Es máxima en la raíz de la aorta y arterias (**presión arterial**) y va disminuyendo a lo largo del árbol vascular, siendo mínima en la

aurícula derecha. La sangre fluye a través de los vasos conforme a un gradiente de presión entre la aorta y la aurícula derecha.

La presión arterial se genera con la contracción de los ventrículos. Durante la sístole ventricular la presión arterial adquiere su valor máximo (**presión sistólica**) y sus valores son aproximadamente de 120 mmHg. La presión mínima coincide con la diástole ventricular **(presión diastòlica)** y su valor (60-80 mmHg) está en relación con la elasticidad de las arterias que transmiten la energía desde sus paredes a la sangre durante la diástole. La presión sistólica refleja la contractilidad ventricular izquierda, mientras que la presión diastólica indica el estado de la resistencia vascular periférica.

El valor de la presión arterial esta directamente relacionado con la volemia y el gasto cardiaco e inversamente proporcional a la resistencia vascular**.**

RESISTENCIA VASCULAR

La resistencia vascular es la fuerza que se opone al flujo de sangre, principalmente como resultado de la fricción de ésta contra la pared de los vasos. En la circulación general la **resistencia vascular o resistencia periférica** es la que presentan todos los vasos de la circulación general. Contribuyen a ella en su mayor parte los vasos de pequeño calibre (arteriolas, capilares y vénulas). Los grandes vasos arteriales tienen un gran diámetro y la velocidad del flujo es elevado, por lo cual es mínima la resistencia al flujo. Sin embargo, la modificación del diámetro de las arteriolas comporta importantes modificaciones de la resistencia periférica. El principal centro regulador del diámetro de las arteriolas es el centro cardiovascular.

RETORNO VENOSO

El **retorno venoso** es el volumen de sangre que regresa al corazón por las venas de la circulación general y su flujo depende del gradiente de presión entre las venas y la aurícula derecha. Además del efecto del corazón, otros mecanismos contribuyen a facilitar el retorno venoso:

1. la contracción de los músculos de las extremidades inferiores comprime las venas, lo cual empuja la sangre a través de la válvula proximal y cierra la válvula distal.
2. durante la **inspiración**, el diafragma se mueve hacia abajo, lo cual reduce la presión en la cavidad torácica y la incrementa en la cavidad abdominal**.**

REGULACIÓN DE LA PRESIÓN ARTERIAL

Para mantener unos valores de presión arterial que permitan la correcta irrigación de todos los órganos de nuestro organismo y adaptarse a sus necesidades energéticas es preciso un estricto control de los valores de la presión arterial y el flujo sanguíneo.

Existen distintos mecanismos implicados en el control de la presión arterial, los cuales pueden agruparse en:

1. **Mecanismo de acción rápida**: este mecanismo se inicia unos cuantos segundos después de que aumente o disminuya la presión arterial y su

acción está relacionada con la actividad del centro cardiovascular y el sistema nervioso autónomo.

c. Los **impulsos aferentes** que informan al centro cardiovascular de cambios en los valores de la presión arterial pueden venir a través de receptores sensoriales periféricos (barorreceptores, quimiorreceptores y propioceptores) o impulsos cerebrales**.**
d. Los **impulsos eferentes** viajan desde el centro cardiovascular a través de nervios del sistema nervioso simpático y sistema nervioso parasimpático.
    i. El **sistema nervioso simpático** es la parte más importante del sistema nervioso autónomo para la regulación de la circulación. Los impulsos simpáticos en el corazón aumentan la frecuencia cardiaca y la contractilidad miocárdica. En los vasos, los nervios vasomotores simpáticos, pueden regular su diámetro modificando la resistencia vascular. En arteriolas, la vasoconstricción aumenta la resistencia vascular impidiendo la marcha rápida de la sangre de las arterias en adelante, aumentando la presión arterial. En las venas, la vasoconstricción ocasiona un aumento del retorno venoso.
    ii. El **sistema nervioso parasimpático** controla funciones cardiaca por medio de fibras parasimpáticas que inervan el corazón a través de los nervios vagos o X par craneal. La estimulación parasimpática tiene como resultado principal una disminución marcada de la frecuencia cardiaca y un descenso leve de la contractilidad miocárdica.

2. **Control reflejo**: son mecanismos reflejos de retroalimentación negativa que mantienen de forma inconsciente los niveles de presión arterial dentro de los límites normales.

    a. **Reflejos barorreceptores** : su acción en el mantenimiento de la presión arterial son muy importantes ante cambios de postura. Cuando una persona que está acostada se sienta o se pone de pie, se produce una disminución de la presión arterial de la cabeza y la parte superior del cuerpo. Esta disminución estimula los barorreceptores de los senos carotídeos y aórticos, los cuales desencadenan de forma refleja una descarga simpática que normaliza la presión arterial.

        i. El **reflejo de los senos carotídeos** ayuda a mantener los valores de presión arterial dentro de la normalidad en el cerebro. Se activa por estimulación de barorreceptores de las paredes de los senos carotídeos, situados en la bifurcación carotídea . El aumento de la presión sanguínea estira la pared de estos senos, con lo que se estimulan los barorreceptores. Los impulsos nerviosos se propagan al centro cardiovascular el cual, a través del sistema nervioso parasimpático envia estímulos para disminuir la presión arterial.El **reflejo aórtico** ayuda a mantener la presión sanguínea global en la circulación general.

    b. **Reflejos quimiorreceptores:** los quimiorreceptores son células sensibles a la pO_2, pCO_2 y H^+. Se localizan en la en la bifurcación carotídea y en el cayado aórtico. Cuando disminuye la presión arterial, el flujo sanguíneo es más lento y se acumula exceso de CO_2 y H^+ y disminuye la pO_2. Ello estimula los quimiorreceptores los

cuales de forma refleja ocasionan un aumento de la presión arterial. Este reflejo solo se estimula ante disminuciones muy importantes de la presión arterial.

4. **Mecanismo hormonal**: es un mecanismo de acción más lento para el control de la presión arterial que se activa al cabo de horas. Implica la secreción de hormonas que regulan el volumen sanguíneo, el gasto cardiaco y las resistencias vasculares.

   a. **Sistema renina-angiotensina-aldosterona**: al disminuir la volemia o el flujo renal, las cálulas del aparato yuxtaglomerular de los riñones liberan más **renina** a la sangre. La renina y la enzima convertdiora de angiotensina (ECA) actuan en sus respectivos sustratos para que se produzca la forma activa **angiotensina II** la cual aumenta la presión arterial por dos mecanismos:

      i. **Vasoconstricción arteriolar**, que ocasiona aumento de las resistencias periféricas.
      ii. Estimula de la secreción de **aldosterona**, que aumenta la reabsorción renal de Na^+ y agua y ocasiona un aumento de la volemia.

   b. **Adrenalina y noradrenalina**: estas hormonas se liberan en la médula suprarrenal por activación del sistema nervioso simpático. Ocasionan un aumento del gasto cardiaco al aumentar la contractilidad y la frecuencia cardiaca. También aumentan las resistencias periféricas al producir vasoconstricción arteriolar. Además, inducen vasoconstricción venosa en la piel y vísceras abdominales, aumentando el retorno venoso. Asimismo, la adrenalina produce vasodilatación arterial en el miocardio y los músculos esqueléticos.

   c. **Hormona antidiurética (ADH):** esta hormona hipotalámica se libera en la hipófisis al disminuir la volemia y estimula la reabsorción de agua en el riñón y la vasoconstricción arteriolar.

   d. **Péptido natriurético auricular**: se libera en las células auriculares cardíacas y disminuye la presión arterial al ocasionar vasodilatación y aumentar la excreción de iones y agua en el riñón.

INTERCAMBIO CAPILAR

En los capilares se produce la entrada y salida de sustancias y líquido entre la sangre y el líquido intersticial o **intercambio capilar**. La velocidad del flujo en los capilares es la menor de todos los vasos del sistema cardiovascular para poder permitir el correcto intercambio entre la sangre y todos los tejidos del organismo.
El desplazamiento del líquido (y de los solutos contenidos en el mismo) se produce en ambas direcciones a través de la pared capilar siguiendo el principio de la Ley de Starling. Los factores que intervienen incluyen fuerzas dirigidas hacia adentro y dirigidas hacia afuera y el equilibrio entreellas determina si los líquidos van a salir o van a entrar en el plasma en un punto determinado. Un tipo de fuerza o presión que interviene en este movimiento es la **presión hidrostática** que es la fuerza de la sangre dentro de los capilares. Otra presión es la **presión osmótica** que es la fuerza que ejercen los sólidos debido a su concentración. En el extremo arteriolar del capilar la presión hidrostática es mayor que la presión osmótica y ello ocasiona

un movimiento neto de líquido y solutos hacia el espacio intersticial o **filtración**. En el extremo venoso del capilar, la presión osmótica es mayor a la presión hidrostática y ello ocasiona movimiento de líquido y solutos del líquido intersticial al capilar o **reabsorción**.

Aproximadamente un 85% del fluido filtrado en el extremo arteriolar del capilar se reabsorbe en el extremo venoso. El resto de filtración y alguna proteína que se ha filtrado y no puede ser reabsorbida, entran a los capilares linfáticos del espacio intersticial y así retornan al torrente circulatorio.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA CIRCULATORIO:

Pulso

En las arterias se produce un alternancia entre la expansión de la pared (durante la sístole ventricular) y el retorno elástico (durante la diástole ventricular) que ocasionan unas ondas de presión migratorias denominadas **pulso**. Hay dos factores responsables del pulso que son el volumen sistólico y la elasticidad de las paredes arteriales. El pulso es más fuerte en las arterias cercanas al corazón, se va debilitando de forma progresiva hasta desaparecer por completo en los capilares. El pulso es palpable en todas las arterias cercanas a la superficie corporal sobre una estructura dura (hueso) o firme.

Presión arterial

En general, la presión arterial en la práctica clínica se determina en la arteria braquial con un **esfingomanómetro**. Para ello, se coloca el manguito alrededor del brazo, sobre la arteria braquial, y se insufla hasta que la presión del manguito sea mayor a la presión de la arteria. En este momento, la arteria braquial está completamente ocluida, sin flujo, y no se escucha ningún ruido con el estetoscopio sobre la arteria ni se palpa el pulso en la arteria radial. Al desinflar progresivamente el manguito, se permite la entrada de flujo en la arteria, pero como ésta esta parcialmente comprimida el flujo es turbulento y esto genera un ruido audible que corresponde con el valor de la **presión sistólica**. Al reducir todavía más la presión del manguito, el ruido se atenúa repentinamente al desaparecer las turbulencias. En este momento se puede determinar el valor de la **presión diastólica**.

- **Autora**: Avelina Tortosa i Moreno
    - *Cargo:* Profesora Titular de la Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Barcelona
    - *CV:* Doctora en Medicina. Especialista en Neurología.
- **Colaboradora:** Julia Reiriz Palacios
    - *Cargo:* Profesora Titular de la Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Barcelona
    - *CV:* Doctora en Medicina. Especialista en Neurología. Coordinadora de la materia de Estructura y Función del Cuerpo Humano del portal de salud La Enfermera Virtual.

Bibliografía general

- Agur MR, Dalley F. Grant. Atlas de Anatomía. 11ª ed. Madrid: Editorial Médica Panaméricana; 2007.
- Berne RM y Levy MN. Fisiología. 3ª ed. Madrid: Harcourt. Mosby; 2001.
- Boron WF, Boulpaep EL. Medical Physiology. Updated edition. Filadelfia (EEUU): Elsevier Saunders. 2005.
- Burkitt HG, Young B, Heath JW. Histología funcional Wheater. 3ª ed. Madrid: Churchill Livingstone; 1993.
- Costanzo LS. Fisiologia. 1ª ed. Méjico: McGraw-Hill Interamericana; 2000.
- Drake RL, Vogl W, Mitchell AWM. GRAY Anatomia para estudiantes. 1ª ed. Madrid: Elsevier; 2005.
- Fox SI. Fisiología Humana. 7ª ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2003.
- Fox SI. Fisiología Humana. 10ª ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2008.
- Gartner LP, Hiatt JL. Histología Texto y Atlas. 1ª ed. Méjico: Mc Graw Hill Interamericana; 1997.
- Guyton AC. Tratado de Fisiología Médica. 11ª ed. Madrid: Elsevier España. 2006.
- Jacob SW, Francone CA, Lossow WJ. Anatomía y Fisiología Humana. 4ª ed. Méjico: Nueva Editorial Interamericana; 1988.
- Jacob S. Atlas de Anatomia Humana. 1ª ed. Madrid: Elsevier España, S.A. 2003.
- Lamb JF, Ingram CG, Johnston IA, Pitman RM. Fundamentos de Fisiología. 2ª ed. Zaragoza: Ed. Acribia,SA; 1987.
- Lumley JSP, Craven JL, Aitken JT. Anatomía esencial. 3ª ed. Barcelona: Salvat Editores S.A. 1985.
- Moore KL. Anatomía con orientación clínica. 3ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1993.
- Netter FH. Sistema Digestivo. Conducto superior. Colección Ciba de ilustraciones médicas. 1ª ed. Barcelona: Masson-Salvat Medicina; 1981.
- Netter FH. Interactive Atlas of Human Anatomy. CIBA MEDICAL EDUCATION & PUBLICATIONS. 1995.
- Netter FH. Atlas de Anatomia Humana. 3ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 2003.
- Pocock G, Richards ChD. Fisiología Humana. 1ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 2002.
- Pocock G, Richards ChD. Fisiología Humana. 2ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 2005.
- Regueiro González JR, López Larrea C, González Rodríguez S, Martínez Naves E. Inmunología. Biología y patología del sistema inmune. 3ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2002.
- Rhoades RA, Tanner GA. Fisiología médica. 1ª ed. Barcelona: Ed. Masson-Little, Brown, S.A. 1997.
- Schmidt RF, Thews G. Fisiología Humana. 24ª ed. Madrid: Interamericana.McGraw-Hill. 1993.
- Stevens A, Lowe J. Histologia Humana. 3ªed. Madrid: Elsevier/Mosby; 2006.

- Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 2ª ed. Madrid: Mosby/Doyma Libros; 1995.
- Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 4ª ed. Madrid: Ediciones Harcourt; 2000.
- Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 6ª ed. Madrid: Elsevier España, S.A; 2007.
- Thibodeau GA, Patton KT. Estructura y Función del cuerpo humano. 10ª ed. Madrid: Harcourt Brace; 1998.
- Tortora GJ, Derricskon B. Principios de Anatomía y Fisiología. 11ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2006.
- West JB. Bases fisiológicas de la práctica médica. 12 ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1993.